

东北黑土区耕作措施对地表节肢动物多样性的影响

孙 涛, 陈 强, 张兴义*

(中国科学院东北地理与农业生态研究所/黑土区农业生态重点实验室, 哈尔滨 150081)

摘要:【目的】调查不同耕作措施下东北黑土地表节肢动物群落类群多样性以及营养功能群结构, 有利于揭示地表节肢动物多样性对土地管理措施的响应。【方法】本研究于 2012 年 7–9 月在黑龙江海伦中国科学院海伦农田生态系统国家野外科学观测研究站采用陷阱法对东北典型黑土区免耕、少耕、平翻、旋耕和组合 5 种耕作措施长期定位试验区的地表节肢动物群落组成、类群多样性以及功能群结构进行调查, 计算各处理地表节肢动物类群相对多度、类群丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Simpson 优势度指数、Cody 指数和 Sørensen 指数。【结果】本次调查共收集黑土农田地表节肢动物个体数为 2 942, 隶属 7 目 18 科。免耕样地收集节肢动物 15 科, 占有类群 83.34%; 少耕和组合样地均为 11 科, 占 61.12%。所有耕作措施下鞘翅目和蜘蛛目类群相对多度最高, 步甲科为黑土农田优势地表节肢动物类群。免耕样地节肢动物类群丰富度和多样性指数最高, 少耕样地最低。除旋耕样地外, 其他耕作样地地表节肢动物功能群均以捕食性为主。群落相似性指数分析表明, 不同耕作措施间群落相似性不同, 免耕与组合之间相似性较高, 而平翻与组合之间较低。【结论】步甲科是黑土农田地表节肢动物群落中的优势类群。不同耕作措施影响近地表土壤以及植被微生境, 进而影响地表节肢动物群落组成、数量和营养功能群。免耕样地具有较高节肢动物类群丰富度和捕食性动物类群, 有利于维持黑土农田地表节肢动物多样性。

关键词: 节肢动物; 物种多样性; 群落结构; 耕作措施; 地表; 黑土区

中图分类号: Q968 文献标识码: A 文章编号: 0454-6296(2014)01-0074-07

Effect of tillage system on soil surface arthropod diversity in the black soil region of Northeast China

SUN Tao, CHEN Qiang, ZHANG Xing-Yi* (Key Laboratory of Mollisols Agroecology, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Harbin 150081, China)

Abstract: 【Aim】To provide references to revealing the response of arthropod diversity to the land management through investigating the diversity and trophic functional group of arthropod communities on the soil surface with different tillage systems in the black soil region of Northeast China. 【Methods】The pitfall trap method was used in the Hailun Agroecology Experimental Station, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences from July to September in 2012, to investigate the community composition, diversity and functional group structure, and to calculate the relative abundance, richness, Shannon-Wiener diversity index, Pielou evenness index, Simpson dominant index, Cody index and Sørensen index of arthropods on the soil surface with five tillage systems, *i. e.*, no-tillage (NT), reduced tillage (RT), moldboard plough (MP), rotary tillage (ROT) and combination tillage (CT), based on the long-term tillage experiment. 【Results】A total of 2 942 individuals of soil surface arthropods belonging to 7 orders and 18 families were collected. There were 15, 11 and 11 families under NT, RT and CTM, accounting for 83.34%, 61.12% and 61.12% of the total fauna, respectively. The relative abundance of Coleoptera and Araneae was the highest under the five tillage systems, and Carabidae was the dominant group in the black farmland. The largest values of richness and diversity were found under NT, while the lowest under RT. The results showed that the predators were dominant under all tillage systems except ROT. The analysis of similarities of arthropod community showed that the similarities of soil surface arthropod fauna varied among different tillage systems, with the highest

基金项目: 国家自然科学基金项目(41201047)

作者简介: 孙涛, 男, 1979 年 9 月生, 甘肃通渭人, 副研究员, 研究方向为生物多样性, E-mail: suntao@neigaeherb.ac.cn

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail: zhangxy@neigaeherb.ac.cn

收稿日期 Received: 2013-10-09; 接受日期 Accepted: 2013-11-22

similarity between NT and CT and the lowest similarity between MP and CT. 【Conclusion】 Tillage system could affect surface soil and vegetation micro-environment condition, thus affecting the community composition, population and functional group of arthropods. NT has higher abundance of arthropod group and predatory group, which contributes to conserving arthropod diversity of farmland in the black soil region.

Key words: Arthropod; species diversity; community structure; tillage system; soil surface; black soil region

节肢动物具有世代周期短、个体小、种群数量大、生殖潜能大和对环境扰动敏感等特点 (Longcore, 2003; Eyre *et al.*, 2009), 它们依赖地表植被及土壤作为生长发育的食物资源和栖息、躲避天敌的理想场所, 对外界的任何扰动极为敏感。地表节肢动物活动主要依赖土壤地表, 是土壤生态系统主要组分之一, 它们在调节系统营养动态、改善土壤理化性状以及土壤质量监测等方面发挥重要作用 (Paoletti *et al.*, 1999; Eisenhauer *et al.*, 2010)。其群落组成和多样性受制于土壤孔隙、颗粒、水分、温度以及有机质等理化因子以及地表微生境空间资源变异等 (吴东辉等, 2006; Maleque *et al.*, 2009)。外界的任何干扰均会在不同程度上影响其群落及多样性变化 (Paoletti *et al.*, 1999)。

耕作措施改变土壤理化和生物学性状, 进而影响到土壤质量和生产力及农田生态系统功能 (梁淑敏等, 2010; Chen *et al.*, 2011)。耕作措施通过机械作用、秸秆还田, 可改变土壤水热状况, 影响地表植物残存量以及土壤肥力状况, 进而影响土壤中养分的矿化、运输、吸收和利用, 最终对土壤地表微生境、理化特性和生产能力有较大影响 (于同艳等, 2007; Maleque *et al.*, 2009)。当前有关耕作措施研究较多侧重于其对土壤理化性质和肥力、土壤微生物和农田土壤动物类群、作物生长发育及其产量影响等方面 (林英华等, 2004; Chen *et al.*, 2011)。耕作措施在改变土壤理化性质同时, 也会影响地表节肢动物生存的微生境, 导致其群落特性发生变化 (Attwood, 2008)。此外, 也有不少研究就土地利用变化、土地覆盖变化以及管理扰动对土壤节肢动物群落特性影响作用机理做了深入剖析 (Paoletti *et al.*, 1999; 李锋瑞等, 2011; 赵哈林等, 2013)。但是, 迄今尚缺乏有关黑土区农田耕作措施对地表节肢动物多样性形成和维持影响机制的研究, 也不清楚耕作措施给土壤动物群落组成及其多样性的形成有何潜在影响。

本研究于 2012 年 7–9 月选择东北典型黑土区

不同耕作措施长期定位试验样地为研究样地, 利用陷阱法, 调查比较了不同耕作措施农田地表节肢动物类群多样性, 评估了耕作措施对地表节肢动物类群丰富度、多度、多样性以及营养功能群的影响。研究结果对深入认识东北黑土区不同耕作模式下地表节肢动物多样性保育功能和维持机制, 以及利用节肢动物群落特性评估土壤质量提供科学参照依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验样地在黑龙江省海伦市中国科学院海伦农田生态系统国家野外科学观测研究站 (47°26'N, 126°38'E), 海拔 240 m, 该区属温带大陆性季风气候区, 冬季寒冷干燥, 夏季高温多雨, 雨热同季。年均气温 1.5℃, 极端最高温度 37.0℃, 极端最低温度 -39.5℃, 年均降水量 500 mm, 年均有效积温 2 450℃, 年均日照时数 2 600 ~ 2 800 h, 无霜期为 125 d。典型地带性土壤类型为中厚层黑土, 土壤质地为重壤土, 土壤粉粒 (0.002 ~ 0.05 mm) 和粘粒 (<0.002 mm) 含量分别为 55.0% 和 35%。0 ~ 30 cm 土层有机质含量为 5.06%, 土壤容重为 1.08 g/cm³, 总孔隙度为 53.6%, 饱和含水量为 46.3% (张兴义等, 2013)。

1.2 耕作处理

耕作处理样地为长期定位试验区, 起始于 2003 年 10 月, 试验设 5 种耕作措施, 分别为: 少耕: 夏季垄沟深松, 收获后留茬越冬; 免耕: 免耕播种, 不进行任何耕翻, 秋收后秸秆粉碎覆盖; 平翻: 秋季收获后翻耙起垄; 组合: 玉米夏季垄沟深松, 秋季收获后旋松起垄, 大豆原垄越冬, 春耙茬直播; 旋耕: 秋收后旋松起垄。本实验设不同 3 个试验区 (200 m × 42 m), 每个试验区随机排列有 5 个小区, 分别代表 5 种不同耕作措施。每个小区 (40.0 m × 8.4 m) 有 12 条垄 (垄长为 40 m, 宽为 70 cm)。每个试验区之间有相距 1.5 m 的机械耕作道, 以便机

械耕作、播种、收割时掉头作业。调查当年种植作物为大豆,农田主要杂草有稗草 *Echinochloa crusgalli*, 灰菜 *Chenopodium album*, 反枝苋 *Amaranthus viridis*, 苣荬菜 *Sonchus brachyotus* 和刺儿菜 *Cirsium segetum* 等。试验区大豆和玉米轮作,翻耕和播种均采用机械操作;除耕作措施不同外,其他田间管理措施一致。

1.3 样品采集与鉴定

2012 年 7–9 月,采用陷阱法 (Van Straalen and Rijninks, 1982), 调查不同研究样地的地表节肢动物群落组成、数量和类群丰富度。分别在每个小区处理随机选择 10 个采样点布设陷阱收集器。具体方法为: 在每个采样点,将塑料小桶(上下表面直径分别为 25 cm 和 17 cm, 高 22 cm)埋入土中,桶口与地面齐平,同时在桶内加入浓度 3% 的福尔马林溶液和少量甘油,以增加诱捕有效性。为确保每个调查样区收集器在统计学上的独立性,收集器的间距大于 6 m。节肢动物标本采集期为 70 d (7 月 2 日至 9 月 9 日)。采样期间,每 7~10 d 检查一次收集器,将捕获的动物标本放在 75% 的酒精溶液中,带回实验室。采集标本在体视显微镜下对样品进行分类鉴定。所有节肢动物标本除了双尾目外,均鉴定到科,并按不同分类群(科)统计动物个体数量。动物标本鉴定主要依据《中国农林蜘蛛》(胡金林, 1984)、《昆虫分类》(郑乐怡和归鸿, 1999) 和《中国土壤动物检索图鉴》(尹文英, 2000)。

1.4 数据分析

各处理地表节肢动物类群相对多度、类群丰富度、Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数和 Simpson 优势度指数计算公式见相关参考文献 (Krebs, 1999)。为说明不同耕作处理间地表节肢动物群落物种组成的相异性随环境梯度更迭速率,选择 Cody 指数和 Sørensen 指数进行比较分析 (Brower and Zar, 1977; 崔保山等, 2006)。

Sørensen 指数计算公式如下:

$$S_i = 2c / (a + b);$$

Cody 指数计算公式如下:

$$Bc = (a + b - 2c) / 2。$$

式中: a , b 为两群落地表节肢动物类群数, c 为两群落共有的类群数。

将每小区内 10 个样点合并 1 个数据,每个耕作措施 3 个样本,用于统计分析不同耕作间地表节肢动物多样性的差异。为保证试验数据满足正态分布,对地表节肢多样性指数、均匀性指数和优势度

指数进行 $\lg(1+x)$ 转化,采用 SPSS 18.0 软件进行方差分析,用 Tukey 氏 HSD 进行多重分析。采用主成分分析 (principal component analysis, PCA) 研究不同耕作措施与土壤动物群落种类和个体数量分布格局的关系,排序数据采用各样地内地表节肢动物类群(以目为单位)的种类和个体数量为属性,应用 CANOCO5.0 软件进行分析运算 (Ter Braak and Smilauer, 2002)。

2 结果与分析

2.1 不同耕作措施下地表节肢动物群落组成类群及其相对多度

不同耕作措施下地表节肢动物群落组成及类群相对多度见表 1。本次调查共收集到地表节肢动物个体数为 2 942, 隶属 7 目 18 科。免耕措施样地采集到节肢动物 15 科, 占全部采集样的 83.34%, 少耕和组合耕作处理样地采集动物类群均为 11 科, 占总数 61.12%。从陷阱法收集所得相对多度来看, 鞘翅目、直翅目和蜘蛛目为相对多度较高的 3 个类群, 步甲科、蝗科、蟋蟀科、圆蛛科、花蝇科等类群在各耕作措施均有发现, 为黑土农田地表节肢动物广布种, 其中步甲科数量最多, 为优势类群。调查也发现不同耕作措施有其各自特有类群, 如丽金龟科、鳃金龟科和叶蜂科分别为免耕、平翻和旋耕样地特有类群。而从分类学角度来看, 鞘翅目和蜘蛛目所含科最多, 分别有 5 科和 4 科。

2.2 耕作措施对节肢动物多样性影响

5 种耕作措施下, 无论是节肢动物类群丰富度, 还是多样性指数, 均以免耕样地最高, 少耕样地最低, 免耕样地丰富度指数是少耕样地的 1.36 倍 (表 2)。免耕样地多样性指数显著高于其他样地 ($P < 0.05$), 而组合样地均匀性指数明显高于其他 4 种耕作措施 ($P < 0.05$)。尽管组合和少耕样地类群丰富度相同, 但组合样地多样性指数显著高于少耕样地。本研究中节肢动物优势度的变化顺序是少耕 > 旋耕 > 组合 > 平翻 > 免耕, 但相互之间差异没有达到显著水平。

2.3 不同耕作措施的地表节肢动物数量变异特性

在对地表节肢动物类群数量变异主成分分析结果表明 (图 1), 排序图的横轴 (第一主成分) 和纵轴 (第二主成分) 共同解释了地表土壤节肢动物丰富度变异的 77%, 其中第一主成分为 52%。从图可知, 第一主成分主要是把丰富度较高优势类群和数

表 1 东北黑土区不同耕作措施地表节肢动物群落组成类群(目/科)及其相对多度(%) (黑龙江海伦, 2012 年 7-9 月)
Table 1 Community composition (order/family) and the relative abundance (%) of soil surface arthropod groups in the black soil region of Northeast China (Hailun, Heilongjiang, July – September, 2013)

类群(目/科) Group (order/family)	功能群 Functional group	耕作措施 Tillage systems				
		NT	CT	MP	RT	ROT
直翅目 Orthoptera		11.89	7.52	9.43	11.88	17.42
蝼蛄科 Gryllotalpidae	Ph					0.38
蝗科 Acridiidae	Ph	7.99	1.50	1.89	1.90	1.14
蟋蟀科 Gryllidae	Ph	3.89	6.02	7.55	9.98	15.91
鞘翅目 Coleoptera		74.59	61.65	60.38	69.36	58.71
叩头甲科 Elateridae	Ph	25.41		20.13	21.38	21.21
丽金龟科 Rutelidae	Ph	2.25				
金龟甲科 Scarabaeidae	Om	5.32	19.55			1.52
鳃金龟科 Melolonthidae	Ph			3.77		
步甲科 Carabidae	Pr	41.60	42.11	36.48	47.98	35.98
膜翅目 Hymenoptera		1.43	0.75			4.55
蚁科 Formicidae	Om	1.43	0.75			0.76
叶蜂科 Tenthredinidae	Ph					3.79
双翅目 Diptera		4.51	6.02	8.81	3.56	3.41
蚊科 Culicidae	Pr	1.43	3.01	5.03	0.71	
花蝇科 Anthomyiidae	Pr	3.07	3.01	3.77	2.85	3.41
摇蚊科 Chironomidae	Pr	0.20	6.02			
蜘蛛目 Araneae		6.15	12.03	15.09	12.11	11.36
狼蛛科 Lycosidae	Pr	2.05	7.52		3.33	7.95
圆蛛科 Araneidae	Om	0.61	4.51	9.43	0.00	1.11
平腹蛛科 Gnaphosidae	Om	1.43		1.89	5.46	
跳蛛科 Salticidae	Om	2.05		3.77	3.33	2.27
蜈蚣目 Scolopendromorpha		0.20	6.02	3.77	2.38	1.52
地蜈蚣科 Geophilidae	Pr			3.77	2.38	1.52
双尾目 Diplura	Om	1.23	6.02	2.52	0.71	3.03

Pr: 捕食性 Predatory group; Ph: 植食性 Phytophagous group; Om: 杂食性 Omnivorous group; NT: 免耕 No tillage; CT: 组合 Combination tillage; MP: 平翻 Moldboard plough; RT: 少耕 Reduced tillage; ROT: 旋耕 Rotary tillage. 下同 The same below.

表 2 东北黑土区不同耕作措施地表节肢动物多样性比较

Table 2 Diversity of arthropods on the soil surface with different tillage systems in the black soil region of Northeast China

耕作措施 Tillage	丰富度 Abundance	多样性指数 Diversity index	均匀性指数 Evenness index	优势度指数 Dominance index
NT	15	2.72 ± 0.26 a	1.00 ± 0.01 b	0.78 ± 0.01
CT	11	2.69 ± 0.30 b	1.12 ± 0.02 a	0.81 ± 0.01
MP	12	2.60 ± 0.15 c	1.05 ± 0.01 b	0.80 ± 0.02
RT	11	2.58 ± 0.11 c	1.07 ± 0.01 b	0.83 ± 0.01
ROT	14	2.60 ± 0.21 c	0.99 ± 0.01 b	0.82 ± 0.02

同列数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$, Tukey 氏 HSD 检验)。Means within a column followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$, Tukey's HSD test).

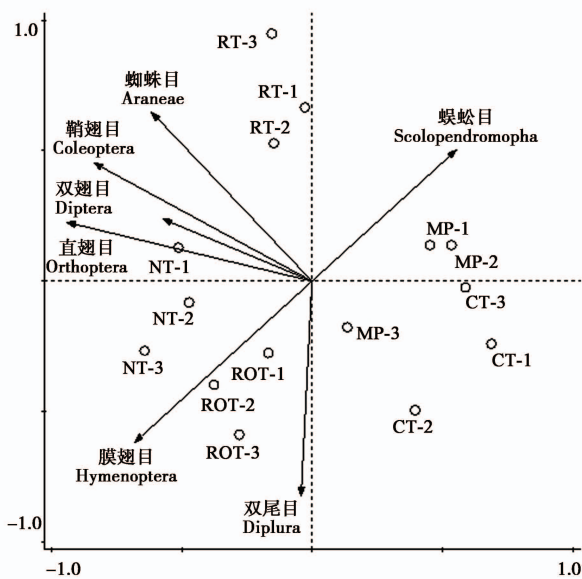


图1 东北黑土区不同耕作措施地表节肢动物类群的主成分分析 (PCA)

Fig. 1 Principal component analysis (PCA) of arthropod groups on the soil surface with different tillage systems in the black soil region of Northeast China

量较少的稀有类群区分开来,而第二主成分则反映了双尾目、蜈蚣目和膜翅目与其他类群之间区别,表现了它们对耕作措施导致的环境条件选择差异。由图可知,鞘翅目、直翅目和蜘蛛目类群在免耕和少耕处理下多度值较高,而在平翻和组合处理下多度值较小的趋势。此外,鞘翅目、双翅目、直翅目和蜘蛛目之间相关性较高,而它们与双尾目和蜈蚣目之间相关性较低。

2.5 耕作措施对节肢动物营养功能群结构的影响

本研究中,各耕作处理地表节肢动物营养功能群划分为捕食性、植食性和杂食性。旋耕和免耕耕作样地,捕食性动物类群所占比例小于杂食性动物类群,而组合和少耕措施捕食性类群所占比例比杂食性分别高出 9.09% 和 18.18% (表 3)。免耕处理杂食性动物类群所占比例 (40.00%),高于少耕处理 (27.27%)。平翻、旋耕和少耕样地植食性和杂食性动物类群所占比例相同,少耕样地这 2 种类群小于捕食性动物类群,旋耕样地则相反,捕食性高于植食性和杂食性类群。

表 3 东北黑土区不同耕作措施的地表节肢动物营养功能群 (科) 数及其所占比例
Table 3 Number of functional group of arthropods and its proportion on the soil surface with different tillage systems in the black soil region of Northeast China

功能群 Functional group	NT		CT		MP		RT		ROT	
	类群	比例 (%)	类群	比例 (%)	类群	比例 (%)	类群	比例 (%)	类群	比例 (%)
	Family	Proportion	Family	Proportion	Family	Proportion	Family	Proportion	Family	Proportion
Pr	5	33.33	5	45.45	4	33.33	5	45.45	4	28.57
Ph	4	26.67	2	18.18	4	33.33	3	27.27	5	35.71
Om	6	40.00	4	36.36	4	33.33	3	27.27	5	35.71

2.6 节肢动物类群相似性及随环境梯度变化

耕作措施对地表节肢动物 Sørensen 多样性指数有影响 (表 4)。Sørensen 多样性较高值出现在少耕与平翻及免耕与组合之间。其中免耕与平翻及免耕与少耕之间, Sørensen 多样性值相同, 相似情形也在旋耕与少耕及旋耕和平翻处理间发现。节肢动物群落特性受耕作措施影响较大, 其类群组成沿因耕作措施导致的环境梯度所呈现的替代速率不尽相同 (表 4)。Cody 最低值出现在平翻和少耕及组合和旋耕措施之间, 说明这 2 类耕作措施间节肢动物类群的相似性程度较高。组合与平翻及组合和少耕间 Cody 值较高, 表明这些耕作措施处理间群落相似性程度低, 共有种类群数较少; 而免耕与组合间 Cody 值最低, 说明群落相似程度较高。

表 4 东北黑土区耕作措施对地表节肢动物类群相似性影响
Table 4 Effect of tillage systems on the similarity of soil surface arthropod groups in the black soil region of Northeast China

		NT	CT	MP	RT
Sørensen	CT	0.84			
	MP	0.77	0.61		
	RT	0.77	0.64	0.87	
	ROT	0.76	0.72	0.69	0.69
Cody	CT	2.0			
	MP	3.5	4.5		
	RT	3.0	4.0	1.5	
	ROT	3.5	1.5	3.5	3.5

3 讨论

耕作措施对土壤节肢动物类群数及其相对多度有明显影响,这与不同耕作措施土壤理化特性不同有极其密切关系。之前对该样地不同耕作措施下土壤水热特性的研究表明,免耕能增加表层土壤含水量,使土壤有变温效应(即在土壤温度较低时具有保温作用,在土壤温度较高时具有降温作用(于同艳和张兴义,2007)。此外,相比旋耕,免耕能显著增加表层土壤有机质含量(张兴义等,2013)。不同耕作措施下土壤水分、温度以及有机质含量的变化可在不同程度上影响节肢动物个体和类群数量。类似研究结果也有报道,赵哈林等(2013)在科尔沁沙地不同生境土壤动物的研究表明,土壤动物类群丰富度和多样性指数与土壤温度和含水量呈负相关,与有机质含量呈正相关关系。林英华等(2006)则发现黑土区农田小型和大型土壤动物个体数量和类群数分别与土壤容重和含水量成显著负相关。本研究不同耕作措施下节肢动物多度和丰富度的变异也是对土壤水热状况以及养分变化的一种响应对策。再者,本研究地表节肢动物群落调查持续时间长,期间土壤水热状况变异程度大,而节肢动物不同类别及其不同发育时期对土壤温度和水分的响应程度有所不同。尤其这些某个发育阶段(如卵、幼虫)须在土壤进行的动物类群,其个体和类群数量对土壤水热变异更为敏感,受耕作措施影响也最明显。

除土壤性质之外,农田近地表杂草植被结构和盖度、凋落物和秸秆残存及归还量等不仅给节肢动物提供食物资源和营养生态位,而且也是其栖息生活、生长发育、躲避敌害和不利天气影响的场所(Greenstone, 1984; Belovsky and Slade, 1995)。免耕措施土壤受人类扰动的频次和程度较轻,给杂草种子在土壤中继续存活和萌发提供可能,加之覆盖秸秆分解提供的营养源,为杂类草的生长提供良好条件。免耕措施地表杂类草鲜嫩幼苗和分解中的秸秆残体,既是捕食性节肢动物优量食物源,也是其栖息和繁殖的理想场所,尤其是这些喜欢温暖潮湿环境、土壤腐殖质多的节肢动物类群。免耕措施下地表节肢动物个体和类群数最高,这与杂类草植被群落和秸秆的贡献密不可分。其中,不同动物类群生活习性和食性的选择偏好,也是造成不同耕作节肢动物类群丰富度以及特有类群有别的主要因子。从节肢动物营养功能群数来看,免耕处理捕食性节肢动物类群数占全部动物比例高于其他耕作措施,这与节肢动物对微生境和食物源选择与适应的进化演替过程有关(Eyre *et al.*, 2009; Kanaga *et al.*,

2009)。秸秆的分解往往在其他小型动物的分解作用下进行,而这些小型分解者可作为大中型节肢动物的食物来源(朱强根等,2009)。而平翻和组合耕作措施下,因频繁的人为干扰及秸秆收获,致使土壤地表植被盖度低、水分易蒸发、获得太阳辐射能量也高,这样的生境条件则有利这些体型较大、耐旱、喜温型节肢动物的生存(Attwood *et al.*, 2008; Maleque *et al.*, 2009)。

人类耕作活动的干扰强度也会对物种组成及周转速率有很大影响(Brisson and Bouchard, 2003)。本研究发现 Sørensen 多样性最高与最低值分别出现在免耕与组合、平翻与少耕措施间。说明地表节肢动物类群构成在免耕和组合耕作之间相似性差异最大,也间接反映出人类耕作活动对这 2 种样地环境要素的影响程度。Cody 指数反映样带动物类群组成沿环境梯度的替代速率,是对不同环境梯度间生物类群多样性的测度,可揭示不同耕作措施下生境被物种分割的程度,也反映物种周转速率、物种替代速率和生物变化速率(Kohf and Gaston, 2001)。本长期定位试验下,不同耕作措施干扰强度、地表覆盖以及微生境的差异,导致地表节肢动物类群间存有明显生态替代现象,主要体现在不同耕作措施样地共有种的作用。共有种作用的差异,导致节肢动物群落结构、功能和群落优势种类群的变异。免耕处理下杂食性功能群所占比例高于其他处理,这与免耕地表秸秆覆盖、地表土层干扰程度小,可为杂食性节肢动物提供更广生态位有关(Attwood *et al.*, 2008)。本试验样地为长期定位研究,地表节肢动物类群结构、组成及其多样性对耕作措施环境异质性的响应,可看作是对地表节肢动物对农田生态环境变异的适应结果。因此,从这个角度来讲,地表节肢动物可作为一个有效的指标来评价土地长期耕作措施效果。

参考文献 (References)

- Attwood SJ, Maron M, House APN, Zammit C, 2008. Do arthropod assemblages display globally consistent responses to intensified agricultural land use and management? *Global Ecology and Biogeography*, 17(5): 585–599.
- Belovsky GB, Slade JB, 1995. Dynamics of two Montana grasshopper populations: relationships among weather, food abundance and intraspecific competition. *Oecologia*, 101: 383–396.
- Brisson J, Bouchard A, 2003. In the past two centuries, human activities have caused major changes in the tree species composition of southern Quebec, Canada. *Ecoscience*, 10(2): 236–246.
- Brower JE, Zar JH, 1977. *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. Brown Publishers, Dubuque, Iowa.
- Chen Y, Liu S, Li H, Li XF, Song CY, Cruse RM, Zhang XY, 2011. Effects of conservation tillage on corn and soybean yield in the humid

- continental climate region of Northeast China. *Soil and Tillage Research*, 115–116: 56–61.
- Cui BS, Zhao XS, Yang ZF, Tang N, Tan XJ, 2006. The response of reed community to the environment gradient of water depth in the Yellow River Delta. *Acta Ecologica Sinica*, 26(5): 1533–1541. [崔保山, 赵欣胜, 杨志峰, 唐娜, 谭学界, 2006. 黄河三角洲芦苇种群特征对水深环境梯度的响应. *生态学报*, 26(5): 1533–1541]
- Eisenhauer N, Sabais ACW, Schonert F, White R, Leifert C, 2010. Soil arthropods beneficially rather than detrimentally impact plant performance in experimental grassland systems of different diversity. *Soil Biology and Biochemistry*, 42(9): 1418–1424.
- Eyre MD, Labanowska-Bury D, Avayanos JG, White R, Leifert C, 2009. Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in an intensively managed vegetable crop landscape in eastern England. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 131(3): 340–346.
- Greenstone MH, 1984. Determinants of web spider species diversity: vegetation structural diversity vs prey availability. *Oecologia*, 62: 299–304.
- Hu JL, 1984. Agricultural and Forestry Spiders in China. Tianjin Science and Technology Press, Tianjin. [胡金林, 1984. 中国农林蜘蛛. 天津: 天津科学技术出版社]
- Kanaga MK, Latta IVLC, Mock KE, Ryel RJ, Lindroth RL, Pfender ME, 2009. Plant genotypic diversity and environmental stress interact to negatively affect arthropod community diversity. *Arthropod-Plant Interactions*, 3(4): 249–258.
- Kohf P, Gaston KJ, 2001. Latitudinal gradients in diversity: real patterns and random models. *Ecography*, 24: 341–351.
- Krebs CJ, 1999. *Ecological Methodology*. 2nd ed. Benjamin-Cummings, Menlo Park, CA.
- Li FR, Liu JL, Hua W, Niu RX, Liu QJ, Liu CA, 2011. Trophic group responses of ground arthropods to land-cover change and management disturbance. *Acta Ecologica Sinica*, 31(15): 3268–3281. [李锋瑞, 刘继亮, 化伟, 牛瑞雪, 刘七军, 刘长安, 2011. 地面节肢动物营养类群对土地覆被变化和管理扰动的响应. *生态学报*, 31(15): 3268–3281]
- Liang SM, Xie RZ, Tang YL, Yang JZ, Li CS, Wang LB, Wu C, Li SK, 2010. Effects of tillage systems on fields in Chengdu plain I. The effects of tillage systems on soil properties and crop yields. *Scientia Agricultura Sinica*, 43(19): 3988–3996. [梁淑敏, 谢瑞芝, 汤永禄, 杨锦忠, 李朝苏, 王灵便, 吴春, 李少昆, 2010. 成都平原不同耕作模式的农田效应研究 I. 对土壤性状及产量的影响. *中国农业科学*, 43(19): 3988–3996]
- Lin YH, Zhang FD, Yang XY, Bao DJ, Shi XJ, Wang SJ, Wang BR, 2004. Study on the relationship between agricultural soil fauna and soil physicochemical properties. *Scientia Agricultura Sinica*, 37(6): 871–887. [林英华, 张夫道, 杨学云, 宝德俊, 石孝均, 王胜佳, 王伯仁, 2004. 农田土壤动物与土壤理化性质关系的研究. *中国农业科学*, 37(6): 871–887]
- Lin YH, Zhu P, Zhang FD, Peng C, Gao HJ, Liu SH, 2006. Variation of composition and diversification of cropland soil fauna under different fertilizer application condition in the Black soil, Jilin province. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 12(3): 412–419. [林英华, 朱平, 张夫道, 彭畅, 高洪军, 刘淑环, 2006. 吉林黑土区不同施肥条件下农田土壤动物组成及多样性变化. *植物营养与肥料学报*, 12(3): 412–419]
- Longcore T, 2003. Terrestrial arthropods as indicators of ecological restoration success in coastal sage scrub (California, USA). *Restoration Ecology*, 11(4): 397–409.
- Maleque MA, Maeto K, Ishii HT, 2009. Arthropods as bioindicators of sustainable forest management, with a focus on plantation forests. *Applied Entomology and Zoology*, 44(1): 1–11
- Paoletti MG, Hu DX, Patrick M, Huang NX, Wu WL, Han CR, He JH, Cai LW, 1999. Arthropods as bioindicators in agroecosystems of Jiang Han Plain, Qianjiang city, Hubei China. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18(3): 457–465.
- Ter Braak CJF, Šmilauer P, 2002. CANOCO Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (Version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, NY.
- Van Straalen NM, Rijninks PC, 1982. The efficiency of Tullgren apparatus with respect to interpreting seasonal changes in age structure of soil arthropod populations. *Pedobiologia*, 24: 197–209.
- Wu DH, Zhang B, Chen P, 2006. Community composition and distribution of soil macro-arthropods under agricultural environment in the black soil region of Jilin province. *Scientia Agricultura Sinica*, 39(1): 125–131. [吴东辉, 张柏, 陈鹏, 2006. 吉林省黑土区农业生境大型土壤节肢动物群落组成与生态分布. *中国农业科学*, 39(1): 125–131]
- Yin WY, 2000. Pictorial Keys to Soil Animals of China. Science Press, Beijing. [尹文英, 2000. 中国土壤动物检索图鉴. 北京: 科学出版社]
- Yu TY, Zhang XY, 2007. Effects of different soil tillage systems on soil water in the black farmland. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition)*, 29(3): 121–124. [于同艳, 张兴义, 2007. 耕作措施对黑土农田耕层水分的影响. *西南大学学报(自然科学版)*, 29(3): 121–124]
- Yu TY, Zhang XY, Zhang SL, Chen XW, 2007. Effect of different tillage systems on infiltration of black farmland. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 27(5): 71–74. [于同艳, 张兴义, 张少良, 陈学文, 2007. 耕作措施对农田黑土入渗速率的影响. *水土保持通报*, 27(5): 71–74]
- Zhang XY, Chen Q, Chen Y, Liu S, Li XF, Li H, 2013. Influence of no-tillage on soil and crop performance in the north cool region of Northeast China. *Scientia Agricultura Sinica*, 46(11): 2271–2277. [张兴义, 陈强, 陈源, 刘爽, 李续峰, 李浩, 2013. 东北北部冷凉区免耕土壤的特性及作物效应. *中国农业科学*, 46(11): 2271–2277]
- Zhao HL, Liu RT, Zhou RL, 2013. Effect of changes in land use on soil macro-arthropod communities in Horqin sand land. *Acta Pedologica Sinica*, 50(2): 200–205. [赵哈林, 刘任涛, 周瑞莲, 2013. 科尔沁沙地土地利用变化对大型土壤节肢动物群落影响. *土壤学报*, 50(2): 200–205]
- Zheng LY, Gui H, 1999. *Insect Classification*. Nanjing Normal University Press, Nanjing. [郑乐怡, 归鸿, 1999. 昆虫分类. 南京: 南京师范大学出版社]
- Zhu QG, Zhu AN, Zhang JB, Zhang HC, Huang P, Zhang CZ, 2009. Diversity of soil fauna in corn fields in Huang-Huai-Hai Plain of China under effects of conservation tillage. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 20(10): 2417–2423. [朱强根, 朱安宁, 张佳宝, 张焕朝, 黄平, 张丛志, 2009. 黄淮海平原保护性耕作下玉米季土壤动物多样性. *应用生态学报*, 20(10): 2417–2423]

(责任编辑: 袁德成)